

Оптимизация условий формирования сегнетоэлектрических нанообластей в тонкой диэлектрической HfO_2 пленке

Е.А. Губерна, А.А. Чуприк, Р.В. Киртаев, Д.В. Негров

*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
141701 Долгопрудный, Россия
e-mail: shapovalova.ea@phystech.edu*

Одними из базовых элементов инновационных переключаемых устройств фотоники и микроэлектронной энергонезависимой памяти являются гибридные гетероструктуры двумерный (2D) материал/сегнетоэлектрик. Физический принцип их работы заключается в модуляции оптических и электронных свойств 2D материала путем переключения поляризации в смежном сегнетоэлектрическом (СЭ) материале, то есть путем изменения распределения поляризационных зарядов на границе раздела с 2D материалом. Новые перспективы в интеграции такого рода гетероструктур появились с открытием СЭ свойств в тонких плёнках HfO_2 , который идеально совместим с современной кремниевой технологией [1]. Изначально HfO_2 является аморфной плёнкой, и кристаллизуется в СЭ (или не СЭ) структурную фазу при последующем отжиге. Непременным условием стабилизации СЭ фазы является легирование плёнки. Поэтому следующим шагом на пути разработки устройств на основе гетероструктур стало открытие возможности локального легирования оксида гафния путём локальной имплантации Ga ионов сфокусированным ионным пучком для формирования локальных нанообластей СЭ фазы по заданному рисунку [2]. В работе [2] локальное легирование осуществлялось сквозь верхний электрод конденсатора на основе HfO_2 , то есть легирующая примесь внедрялась не только в функциональный слой, но и в объем верхнего электрода. Это не влияет на функциональность СЭ конденсаторов, однако для изготовления гетероструктур 2D материал/сегнетоэлектрик и демонстрации эффекта локальной модуляции электронных и оптических свойств 2D материала технология локального легирования должна быть доработана таким образом, чтобы не допускать модификации свойств 2D материала при легировании.

В данной работе представлен сравнительный анализ различных условий легирования и кристаллизации на СЭ и диэлектрические свойства $\text{HfO}_2\text{:Ga}$. С этой целью исследовано влияние таких факторов, как материал нижнего электрода, способ легирования и тип отжига на СЭ и диэлектрические свойства HfO_2 . Плёнки HfO_2 толщиной 10 нм выращены методом атомно-слоевого осаждения. Дозы для имплантации Ga рассчитывались методом Монте-Карло. Локальная кристаллизация $\text{HfO}_2\text{:Ga}$ в СЭ фазу выполнялась методом быстрого термического отжига (500 °C, 30 с, Ar). Локальные СЭ, транспортные и структурные свойства были изучены с помощью микроскопии пьезоотклика, микроскопии сопротивления растекания и просвечивающей электронной микроскопии, соответственно. Наибольшая остаточная поляризация составила 5 мКл/см² при оптимальных условиях, что позволяет применять представленный метод для изготовления и исследования гетероструктур 2D материал/сегнетоэлектрик.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 20-19-00370).

1. T.S. Boscke, J. Muller, D. Brauhaus, U Schröder, U Böttger, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 102903 (2011).
2. A. Chouprik, R. Kirtaev, M. Spiridonov, A.M. Markeev, D. Negrov, *ACS Appl. Mat. Interf.* **12**(50), 56195 (2020).